

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 8 月 7 日  
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 3 0 3 4 3  
Application Number:

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号

country code and number  
of our priority application,  
used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 2 - 2 3 0 3 4 3

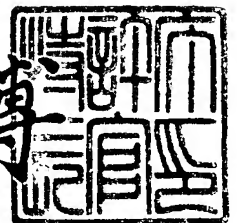
願 人  
Applicant(s):

信越半導体株式会社  
株式会社ナノテコ

2 0 0 7 年 1 0 月 1 2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

肥塚 雅博



出証番号 出証特 2 0 0 7 - 3 0 6 3 8 8 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0220652S

【提出日】 平成14年 8月 7日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会社 半導体磯部研究所内

【氏名】 能登 宣彦

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会社 磯部工場内

【氏名】 山田 雅人

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市榎形 6 - 5 - 2 フローラルガーデン向ケ丘遊園 3 0 8

【氏名】 野崎 眞次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区久が原 4 - 5 - 7

【氏名】 内田 和男

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県鶴ヶ島市鶴が丘 2 7 - 1 6 - 6 0 6

【氏名】 森崎 弘

【特許出願人】

【識別番号】 000190149

【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 501045021

【氏名又は名称】 株式会社ナノテコ

【代理人】

【識別番号】 100095751

【弁理士】

【氏名又は名称】 菅原 正倫

【電話番号】 052-212-1301

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003388

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9901665

【包括委任状番号】 0201235

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子の製造方法及び発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして発光層部が構成され、前記第一導電型クラッド層及び前記第二導電型クラッド層の少なくともいずれかの側に、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するためのITO透明電極層を有する発光素子の製造方法において、

前記発光層部上にGaAs層を形成し、当該GaAs層と接するように前記ITO透明電極層を形成した後に熱処理することにより、前記ITO透明電極層から前記GaAs層にInを拡散させて、Inを含有したGaAsよりなるコンタクト層となすことを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項2】 前記熱処理を600℃以上750℃以下にて行うことを特徴とする請求項1記載の発光素子の製造方法。

【請求項3】 前記コンタクト層の平均的なIn濃度が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下となるように、前記熱処理が行なわれることを特徴とする請求項1又は2に記載の発光素子の製造方法。

【請求項4】 前記熱処理の時間を5秒以上120秒以下に設定することを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項5】 前記発光層部は、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.45 \leq y \leq 0.55$ ) にて構成されることを特徴とする請求項1ないし4のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項6】 前記コンタクト層の厚さを0.001μm以上0.02μm以下の範囲に調整することを特徴とする請求項1ないし5のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項7】 前記コンタクト層の厚さ方向におけるIn濃度分布が、前記ITO透明電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなるよ

うに、前記熱処理が行なわれることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 8】 前記コンタクト層の、前記 ITO 透明電極層との境界位置における In 濃度を  $C_A$  とし、これと反対側の境界位置における In 濃度を  $C_B$  とし、 $C_B/C_A$  が 0.8 以下となるように、前記熱処理が行なわれることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 9】 前記コンタクト層と、前記第一導電型クラッド層と第二導電型クラッド層とのうち、該コンタクト層の形成側に位置するクラッド層との間に、それらコンタクト層とクラッド層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層を形成することを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 10】 前記中間層を、AlGaAs 層、GaInP 層及び AlGaInP 層のうち少なくとも一つを含むものとして形成することを特徴とする請求項 9 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 11】 前記発光層部の全面に渡って前記中間層及びコンタクト層をこの順に形成し、該コンタクト層の全面を覆う形で前記 ITO 透明電極層を形成することを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 12】  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして発光層部が構成され、前記第一導電型クラッド層及び前記第二導電型クラッド層の少なくともいずれかの側に、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための ITO 透明電極層を有し、前記発光層部からの光が、該 ITO 透明電極層を透過させる形で取り出されるとともに、前記発光層部と前記 ITO 透明電極層との間に、In を含有した GaAs よりなるコンタクト層が、該 ITO 透明電極層と接する形にて形成され、

前記コンタクト層の厚さ方向における In 濃度分布が、前記 ITO 透明電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとされたことを特徴とする発光素子。

【請求項 13】 前記発光層部は、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）にて構成されることを特徴とする請求項 12 記載の発光素子。

【請求項 14】 前記コンタクト層の厚さが  $0.001 \mu m$  以上  $0.02 \mu m$  以下の範囲に調整される請求項 12 又は 13 に記載の発光素子。

【請求項 15】 前記コンタクト層の平均的な  $In$  濃度が、 $In$  と  $Ga$  との合計濃度に対する  $In$  の原子比にて、 $0.1$  以上  $0.6$  以下とされることを特徴とする請求項 12 ないし 14 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 16】 前記コンタクト層の、前記  $ITO$  透明電極層との境界位置における  $In$  濃度を  $C_A$  とし、これと反対側の境界位置における  $In$  濃度を  $C_B$  として、 $C_B/C_A$  が  $0.8$  以下とされる請求項 15 記載の発光素子。

【請求項 17】 前記コンタクト層と、前記第一導電型クラッド層と第二導電型クラッド層とのうち、該コンタクト層の形成側に位置するクラッド層との間に、それらコンタクト層とクラッド層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層が形成されたことを特徴とする請求項 12 ないし 16 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 18】 化合物半導体層からなる発光層部と、該発光層部に発光駆動電圧を印加するための  $ITO$  透明電極層とを有し、前記発光層部からの光が、前記  $ITO$  透明電極層を透過させる形で取り出されるとともに、前記発光層部と前記  $ITO$  透明電極層との間に、 $In$  を含有した  $GaAs$  よりなるコンタクト層が、該  $ITO$  透明電極層と接する形にて形成され、

前記発光層部は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成され、前記第一導電型クラッド層及び前記第二導電型クラッド層の少なくともいずれかと前記  $ITO$  透明電極層との間に前記コンタクト層が形成されてなり、該コンタクト層と、前記第一導電型クラッド層と第二導電型クラッド層とのうち、該コンタクト層の形成側に位置するクラッド層との間に、それらコンタクト層とクラッド層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層が形成されたことを特徴とする発光素子。

【請求項 19】 前記中間層を、AlGaAs 層、GaInP 層及び AlGaInP 層のうち少なくとも一つを含むものとして形成することを特徴とする請求項 17 又は 18 に記載の発光素子。

【請求項 20】 前記発光層部の全面に渡って前記中間層及びコンタクト層がこの順に形成され、該コンタクト層の全面を覆う形で前記 ITO 透明電極層が形成されたことを特徴とする請求項 17 ないし 19 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は発光素子の製造方法及び発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

化合物半導体にて発光層部を形成した半導体発光素子のうち、表示用や照明用などの発光ダイオード光源として用いるものは、発光層部の光取出面側に駆動電圧を印加するための金属電極を形成する。金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部主表面の中央部のみを覆う形で形成し、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すこととなる。しかし、金属電極が遮光体であることによりはなくなり、また、電極面積を極端に小さくしすぎると、素子面内の電流拡散が妨げられて、却って光取出量が制限される問題もある。そこで、発光層部の全面を、高導電率の ITO (Indium Tin Oxide: 酸化インジウム錫) 透明電極層にて覆い、透明電極層を介した光取出し効率の向上と、電流拡散効果の改善とを同時に図る提案が、例えば特開平 1-225178 号公報や、特開平 6-188455 号公報に開示されている。

【0003】

いずれの公報においても、発光層部に直接 ITO 透明電極層を形成したのではコンタクト抵抗が高くなりすぎ、適正な動作電圧で駆動できなくなる点を問題としてあげている。特開平 1-225178 号公報では、発光層部の上に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  (以下、 $\text{InGaAs}$  と記す) よりなるコンタクト層を有機

金属気相成長法 (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE) にて直接エピタキシャル成長させ、その上にITO透明電極層を形成する方法が開示されている。他方、特開平6-188455号公報では、発光層部の上にGaAs層をMOVPE法にてエピタキシャル成長させ、その上にITO透明電極層を形成した後、熱処理を行う方法が開示されている。

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明は、発光駆動用の電極としてITO透明電極層を、コンタクト層を介して接合し、該電極の接触抵抗を低減するとともに、コンタクト層形成に際して発光層部との格子定数差の影響も受けにくい発光素子の製造方法と、該コンタクト層の構造改善により、さらなる高性能化を図ることができる発光素子とを提供することにある。

#### 【0005】

##### 【課題を解決するための手段及び作用・効果】

上記の先行技術にて採用されているMOVPE法で形成されるInGaAsコンタクト層は、上記発光層部をなす化合物半導体、例えば、GaAsやGaAs基板上にエピタキシャル成長されたAlGaAsやAlGaInPとの格子定数の差が、混晶比により、最大で4%程度にまで大きくなる。そのため、次のような問題を生ずる。

- ① InGaAsコンタクト層と発光層部との格子不整合により、発光効率の低下などの品質低下を招きやすい。
- ② InGaAsコンタクト層を直接エピタキシャル成長する特開平1-225178号公報の方法では、発光層部との上記の格子定数差により均一なコンタクト層の成長が困難であり、例えば島状の成膜状態となって、ITO透明電極層とのコンタクトを十分に確保できなくなる。一方、ITO透明電極層を形成した後に熱処理する特開平6-188455号公報に開示された実施例は、熱処理温度が800℃と高く、また、熱処理時間が5分と長い。

#### 【0006】

そこで上記の課題を解決するために、本発明の発光素子の製造方法は、



$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして発光層部が構成され、第一導電型クラッド層及び第二導電型クラッド層の少なくともいずれかの側に、発光層部に発光駆動電圧を印加するためのITO透明電極層を有する発光素子の製造方法において、

発光層部上にGaAs層を形成し、当該GaAs層と接するようにITO透明電極層を形成した後に熱処理することにより、ITO透明電極層からGaAs層にInを拡散させて、Inを含有したGaAsよりなるコンタクト層となすことを特徴とする。

#### 【0007】

上記の発光層部は、活性層の両側に形成されるクラッド層とのバンドギャップ差に起因したエネルギー障壁により、注入されたホールと電子とが狭い活性層中に閉じ込められて効率よく再結合するので、非常に高い発光効率を実現できる。さらに、AlGaInPよりなる活性層の組成調整により、緑色から赤色領域（ピーク発光波長が520nm以上670nm以下）にかけて、広範囲の発光波長を実現することができる。そして、本発明の発光素子の製造方法においては、AlGaInPからなる発光層部上に、GaAs層を形成し、そのGaAs層と接するようにITO透明電極層を形成する。発光層部は例えばIII-V族化合物半導体にて構成されるものであり、その上（ただし、格子整合する別の層が介在していてもよい）に形成されるGaAs層とともに、例えば周知のMOVPE法にて形成できる。GaAs層はAlGaInP発光層部と格子整合が極めて容易であり、InGaAsを直接エピタキシャル成長する特開平1-225178号公報の場合と比較して、均質で連続性のよい膜を形成できる。

#### 【0008】

そして、そのGaAs層上にITO透明電極層を形成した後、熱処理することにより、ITO透明電極層からGaAs層にInを拡散させてコンタクト層とする。このように熱処理して得られるInを含有したGaAsよりなるコンタクト層は、In含有量が過剰とならず、発光層部との格子不整合による、発光強度低

下などの品質劣化を効果的に防止することができる。GaAs層と発光層部との格子整合は、発光層部が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）にて構成される場合に特に良好となるので、混晶比 $y$ を上記の範囲に設定して、発光層部（クラッド層あるいは活性層）を形成することが望ましいといえる。

#### 【0009】

上記の熱処理は、コンタクト層の厚さ方向における $In$ 濃度分布は、図6の①に示すように、ITO透明電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなるようにする（つまり、 $In$ 濃度分布に傾斜をつける）ことが望ましい。こうした構造は、熱処理により、ITO側からコンタクト層側へ $In$ を一方向的に拡散させることにより形成される。また、本発明の発光素子の第一は、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ）により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして発光層部が構成され、第一導電型クラッド層及び第二導電型クラッド層の少なくともいずれかの側に、発光層部に発光駆動電圧を印加するためのITO透明電極層を有し、発光層部からの光が、該ITO透明電極層を透過させる形で取り出されるとともに、発光層部とITO透明電極層との間に、 $In$ を含有したGaAsよりなるコンタクト層が、該ITO透明電極層と接する形にて形成され、コンタクト層の厚さ方向における $In$ 濃度分布が、ITO透明電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとされたことを特徴とする。これは、AlGaInPよりなる発光層部側にて、コンタクト層の $In$ 濃度分布が小さくなること、つまり、発光層部との格子定数差が縮まることを意味する。このような $In$ 濃度分布のコンタクト層を形成することにより、発光層部との格子整合性をより高めることができる利点を生ずる。熱処理温度が過度に高くなったり、あるいは熱処理時間が長大化すると、ITO透明電極層からの $In$ 拡散が過度に進行して、図6の③に示すように、コンタクト層内の $In$ 濃度分布が厚さ方向に略一定の高い値を示すようになり、上記の効果は得られなくなる（なお、熱処理温度が過度に低くなったり、あるいは熱処理時間が過度に短時間化すると、図6の②に示すように、コンタクト層内の $In$ 濃

度が不足することにつながる）。

### 【0010】

この場合、図6において、コンタクト層の、ITO透明電極層との境界位置におけるIn濃度を $C_A$ とし、これと反対側の境界位置におけるIn濃度を $C_B$ としたとき、 $C_B/C_A$ が0.8以下となるように調整することが望ましく、該形態のIn濃度分布が得られるように、前述の熱処理を行なうことが望ましい。 $C_B/C_A$ が0.8を超えると、In濃度分布傾斜による発光層部との格子整合性改善効果が十分に得られなくなる。なお、コンタクト層の平均的なIn濃度 $C_M$ が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、例えば前述の望ましい値（0.1以上0.6以下）を確保できるのであれば、コンタクト層の、ITO透明電極層に面しているのと反対側の境界位置でのIn濃度 $C_B$ がゼロとなっていること、つまり、図7に示すように、コンタクト層のITO透明電極層側にInGaAs層が形成され、反対側の部分がGaAs層となる構造となっても差し支えない。なお、コンタクト層の厚さ方向の組成分布（InあるいはGa濃度分布）は、層を厚さ方向に徐々にエッチングしながら、二次イオン質量分析（Secondary Ion Mass Spectroscopy：SIMS）、オージェ電子分光分析（Auger Electron Spectroscopy）、X線光電子分光（X-ray Photoelectron Spectroscopy：XPS）などの周知の表面分析方法により測定することができる。また、その厚さ方向濃度分布を積分平均することにより、コンタクト層の平均組成を測定できる。

### 【0011】

コンタクト層の平均的なIn濃度は、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下とされることが望ましく、上記の熱処理もこのような平均的なIn濃度が得られるように行うことが望ましい。コンタクト層の平均的なIn濃度が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下となるように行なうことが望ましい。上記定義によるIn濃度が0.1未満になると、コンタクト層の接触抵抗低減効果が不十分となり、0.6を超えるとコンタクト層と発光層部との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化が甚だしくなる。

## 【0 0 1 2】

I T O は、酸化スズをドーピングした酸化インジウム膜であり、酸化スズの含有量を 1 質量%以上 9 質量%以下（酸化インジウムの含有量を 9 1 質量%以上 9 9 質量%以下）とすることで、電極層の抵抗率を  $5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  以下の十分低い値とすることができる。このような I T O 透明電極層を G a A s 層上に形成し、さらにこれを適正な温度範囲にて熱処理することにより、上記望ましい I n 濃度を有したコンタクト層を容易に形成できる。また、この熱処理により、I T O 透明電極層の電気抵抗率をさらに低減できる。熱処理は、具体的には特開平 1 - 2 2 5 1 7 8 号公報に記載されている温度よりも低温の、6 0 0 °C 以上 7 5 0 °C 以下にて行なうことが望ましい。熱処理温度が 7 5 0 °C を超えると G a A s 層への I n の拡散速度が大きくなりすぎ、コンタクト層中の I n 濃度が過剰となりやすくなる。また、I n 濃度が飽和して、コンタクト層の厚さ方向に傾斜した I n 濃度分布も得にくくなる。いずれも、コンタクト層と発光層部との格子整合が悪化することにつながる。また、G a A s 層への I n の拡散が過度に進みすぎると、コンタクト層との接触部付近にて I T O 透明電極層の I n が枯渇し、電極の電気抵抗値の上昇が避けがたくなる。さらに、熱処理温度が上記のように高温になりすぎると、I T O の酸素が G a A s 層へ拡散して酸化が促進され、素子の直列抵抗が上昇しやすくなる。いずれも適正な電圧で発光素子を駆動できなくなる不具合につながる。また、熱処理温度が極端に高くなると、I T O 透明電極層の電気抵抗率が帰って悪化する場合がある。他方、熱処理温度が 6 5 0 °C 未満になると、G a A s 層への I n の拡散速度が小さくなりすぎ、接触抵抗を十分に低下させたコンタクト層を得るのに非常な長時間を要するようになるので、製造能率の低下が甚だしくなる。

## 【0 0 1 3】

また、熱処理時間は、5 秒以上 1 2 0 秒以下に設定することが望ましい。熱処理時間が 1 2 0 秒以上になると、特に、熱処理温度が上限値に近い場合、G a A s 層への I n の拡散量が過剰となりやすくなる（ただし、熱処理温度を低めに留める場合は、これよりも長い熱処理時間（例えば 3 0 0 秒程度まで）を採用することも可能である。他方、熱処理時間が 5 秒未満になると、G a A s 層への I n

の拡散量が不足し、接触抵抗を十分に低下させたコンタクト層が得にくくなる。

#### 【0014】

I T O透明電極層は、発光層部の全面を被覆する形にて形成することができる。このように構成すると、I T O透明電極層に電流拡散層の機能を担わせることができ、従来のような化合物半導体からなる厚い電流拡散層の形成が不要となったり、仮に形成する場合でも、その厚みを大幅に減ずることができるから、工程の簡略化によるコスト削減に寄与し、産業利用上非常に有効である。他方、電極接合層の形成厚さは、オーミック接触を形成するために必要十分な程度であれば、それほど厚くする必要がなく、また、具体的には、電極接合層を構成する化合物半導体が、薄層化によりバルク結晶とは異なるバンドギャップエネルギーを示すようにならない程度の厚さを確保すればよく、例えば  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  を用いる場合であれば、 $0.001\mu\text{m}$  程度もあれば十分である。他方、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  からなる電極接合層の厚さを過剰に大きくすることは、該電極接合層における光吸収が増大する結果、光取出効率の低下を招くので、 $0.02\mu\text{m}$  以下とすることが望ましい。また、コンタクト層を  $0.001\mu\text{m}$  以上  $0.02\mu\text{m}$  以下の薄層とすることは、格子不整合の影響を軽減する上でも効果がある。

#### 【0015】

コンタクト層と、第一導電型クラッド層と第二導電型クラッド層とのうち、該コンタクト層の形成側に位置するクラッド層との間には、それらコンタクト層とクラッド層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層を形成することができる。また、本発明の発光素子の第二は、化合物半導体層からなる発光層部と、該発光層部に発光駆動電圧を印加するための I T O透明電極層とを有し、発光層部からの光が、I T O透明電極層を透過させる形で取り出されるとともに、発光層部と I T O透明電極層との間に、 $\text{In}$  を含有した  $\text{GaAs}$  よりなるコンタクト層が、該 I T O透明電極層と接する形にて形成され、発光層部が、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成され、第一導電型クラッド層及び第二導電型クラッド層の少なくともいずれかと I T O透明電極層との間にコンタクト層が形成されてなり、該コンタクト層と、第一導電型クラッド層と第二導電型クラッ

ド層とのうち、該コンタクト層の形成側に位置するクラッド層との間に、それらコンタクト層とクラッド層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層が形成されたことを特徴とする。

#### 【0016】

ダブルヘテロ構造の発光層部は、活性層へのキャリア閉じ込め効果を高めて内部量子効率を向上させるために、クラッド層と活性層との間の障壁高さを一定以上に高める必要がある。図10の模式バンド図（ $E_c$ は伝導帯底、 $E_v$ は価電子帯頂の核エネルギーレベルを示す）に示すように、このようなクラッド層にコンタクト層を直接接合すると、クラッド層とコンタクト層との間に、接合によるバンドの曲がりにより、比較的高いヘテロ障壁が形成される場合がある。この障壁高さ $\Delta E$ は、クラッド層とコンタクト層との間のバンド端不連続値が大きくなるほど高くなり、キャリアの移動、特に有効質量のより大きいホールの移動を妨げやすくなる。例えば金属電極を使用する場合は、クラッド層の全面を金属電極で覆う光取出しができなくなるので、部分的な被覆となるように電極形成せざるを得ない。この場合、光取出し効率向上のため、電極の面内方向外側への電流拡散を何らかの形で促進しなければならない。例えば、金属電極の場合も、発光層部との間にGaAs等のコンタクト層が形成されることが多いが、金属電極の場合は、コンタクト層と発光層部との間に、ある程度高い障壁が形成された方が、障壁によるキャリアのせき止め効果により面内方向の電流拡散を促進できる利点がある。しかし、高い障壁形成のため、直列抵抗の増加は避け難い。

#### 【0017】

これに対し、ITO透明電極層を用いる場合は、ITO透明電極層自体が非常に高い電流拡散能を有しているため、障壁によるキャリアのせき止め効果はほとんど考慮する必要がない。しかも、ITO透明電極層の採用により、光取出領域の面積は金属電極使用時と比較して大幅に増加している。そこで、図11に示すように、コンタクト層とクラッド層との間に、それらコンタクト層とクラッド層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層を挿入すると、コンタクト層と中間層、及び中間層とクラッド層とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ $\Delta E$ も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽

減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。

#### 【0018】

上記本発明の発光素子の第二に係る構造を採用することによる効果は、ダブルヘテロ構造の発光層部の中でも、特にコンタクト層をなすInを含有したGaAsとの格子整合性が比較的良好なAlGaInPにて発光層部を形成する場合に顕著である。この場合、発光層部と、Inを含有したGaAsよりなるコンタクト層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層として、具体的には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）の少なくとも一つを含むものを好適に採用することができ、例えばAlGaAs層を含むものとして形成することができる。また、これ以外の発光層部、例えば、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ からなるダブルヘテロ構造の発光層部にも適用可能である。該発光層部は、活性層の組成調整により、紫外領域から赤色（ピーク発光波長が300nm以上700nm以下）にかけての範囲の発光波長を実現することができる。この場合、中間層は、例えばInGaAlN層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）を含むものが採用可能である。また、駆動電圧低下の効果と、光取出し効率向上の効果とを最大限に引き出すには、光層部の全面に渡って中間層及びコンタクト層を形成し、該コンタクト層の全面を覆う形でITO透明電極層を形成する構成を採用することが望ましい。

#### 【0019】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を添付の図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施形態である発光素子100を示す概念図である。発光素子100は、発光層部24の第一主表面17側に、コンタクト層7とITO透明電極層8とがこの順序にて形成されている。また、発光層部24の第二主表面18側に、コンタクト層9とITO透明電極層10とがこの順序にて形成されている。ITO透明電極層8、10は、コンタクト層7及びコンタクト層9とともに、発光層部24の両主表面17側、18側のそれぞれ全面を覆う形にて形成さ

れている。

### 【0020】

発光層部24は、各々  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) にて構成されるとともに、第一導電型クラッド層6、第二導電型クラッド層4、及び第一導電型クラッド層6と第二導電型クラッド層4との間に位置する活性層5からなるダブルヘテロ構造とされている。具体的には、ノンドープ  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$ ,  $0.45 \leq y \leq 0.55$ ) 混晶からなる活性層5を、各々該活性層5よりもバンドギャップエネルギーの大きいp型  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  クラッド層6とn型  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  クラッド層4とにより挟んだ構造となっている。図1の発光素子100では、ITO透明電極層8側にp型AlGaInPクラッド層6が配置されており、ITO透明電極層10側にn型AlGaInPクラッド層4が配置されている。従って、通電極性はITO透明電極層8側が正である。なお、当業者には自明のことであるが、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するものではない。

### 【0021】

また、コンタクト層7, 9は、いずれもInを含有したGaAsよりなり、図6①において、その平均的なIn濃度 $C_M$ が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下とされる。また、In濃度は、ITO透明電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなっており、ITO透明電極層8, 10（図1）との各境界位置におけるIn濃度を $C_A$ とし、これと反対側の境界位置（つまり、クラッド層6, 4（図1）との各境界位置）におけるIn濃度を $C_B$ としたとき、 $C_B/C_A$ が0.8以下となるように調整されている。コンタクト層7, 9の厚さは、 $0.001 \mu\text{m}$ 以上 $0.02 \mu\text{m}$ 以下（望ましくは $0.005 \mu\text{m}$ 以上 $0.01 \mu\text{m}$ 以下）である。

### 【0022】

なお、図1の発光素子100において、各層の厚さの実例として以下のような



数値を例示できる：

- ・コンタクト層 7 = 厚さ：約  $0.005\ \mu\text{m}$
- ・ITO 透明電極層 8 = 厚さ： $0.4\ \mu\text{m}$ 、酸化スズ含有率：7 質量%（残部酸化インジウム）；
- ・p 型 AlGaInP クラッド層 6 =  $1\ \mu\text{m}$ ；
- ・AlGaInP 活性層 5 =  $0.6\ \mu\text{m}$ ；
- ・n 型 AlGaInP クラッド層 4 =  $1\ \mu\text{m}$ ；
- ・コンタクト層 9 = 厚さ：約  $0.005\ \mu\text{m}$
- ・ITO 透明電極層 10 = ITO 透明電極層 8 と同一構成。

#### 【0023】

以下、図 1 の発光素子 100 の製造方法について説明する。

まず、図 3 に示すように、AlGaInP 混晶と格子整合する化合物半導体単結晶基板である GaAs 単結晶基板 1 の第一主表面 1a に、n 型 GaAs バッファ層 2 を例えば  $0.5\ \mu\text{m}$ 、次いで、発光層部 24 として、 $1\ \mu\text{m}$  の n 型 AlGaInP クラッド層 4、 $0.6\ \mu\text{m}$  の AlGaInP 活性層（ノンドープ）5、及び  $1\ \mu\text{m}$  の p 型 AlGaInP クラッド層 6、さらに GaAs 層 7' を p 型 AlGaInP クラッド層 6 上に厚さ  $0.005\ \mu\text{m}$  にてエピタキシャル成長させる。これら各層のエピタキシャル成長は、公知の MOVPE 法により行なうことができる。

#### 【0024】

上記の成長後、例えば硫酸系水溶液（濃硫酸：30% 過酸化水素水：水 = 3：1：1 容量比）からなるエッチング液に浸漬することにより、GaAs 基板 1 および GaAs バッファ層 2 をエッチング除去することができる（図 4（a））。そして、同図（b）に示すように、そのエッチング剥離された側において、n 型 AlGaInP クラッド層 4 の主表面 18 に、GaAs 層 9' を、MOVPE 法により厚さ  $0.005\ \mu\text{m}$  にてエピタキシャル成長させる。

#### 【0025】

そして、それぞれの GaAs 層 7' 及び GaAs 層 9' の両主表面に、公知の高周波スパッタリング法（ターゲット組成（ $\text{In}_2\text{O}_3 = 90.2$  重量%，Sn

O<sub>2</sub> = 9.8 重量%)、rf 周波数 13.56 MHz、Ar 圧力 0.6 Pa、スパッタ電力 30 W) により、ITO 透明電極層 8, 10 をそれぞれ厚さ 0.4 μm にて形成し、積層体ウェーハ 13 を得る。

#### 【0026】

図 5 に示すように、この積層体ウェーハ 13 を炉 F の中に配置し、例えば窒素雰囲気中あるいは Ar 等の不活性ガス雰囲気中にて、600℃以上 750℃以下（例えば 700℃）の低温で、5 秒以上 120 秒以下（例えば 30 秒）の短時間の熱処理を施す。これにより、ITO 透明電極層 8, 10 から GaAs 層 7', 9' に In が拡散し、図 6（あるいは図 7）に示すとき In 濃度分布のコンタクト層 7, 9 が得られる。熱処理後の積層体ウェーハ 13 はダイシングにより半導体チップとされ、支持体に固着した後、図 1 に示すようにリード線 14b, 15b を取り付け、さらに図示しない樹脂封止部を形成することにより発光素子 100 が得られる。

#### 【0027】

上記発光素子 100 によると、p 型 AlGaInP クラッド層 6 及び n 型 AlGaInP クラッド層 4 の全面が、それぞれコンタクト層 7 及びコンタクト層 9 を介して ITO 透明電極層 8 及び ITO 透明電極層 10 により覆われてなり、これら ITO 透明電極層 8, 10 を介して駆動電圧が印加される。駆動電圧による駆動電流は導電性の良好な ITO 透明電極層 8, 10 の全面に均一に拡散するので、光取出面（両主表面 17, 18）の全体にわたって均一な発光が得られるとともに、電極層 8, 10 が透明なので光取出効率が向上する。さらに、ITO 透明電極層 8, 10 は、バンドギャップが比較的狭いコンタクト層 7, 9 に対しオーミック状接触状態を形成するため、接触部の直列抵抗が小さく抑えられ、発光効率が大幅に高められている。さらに、厚い電流拡散層が不要となるため、ITO 透明電極層と発光面までの距離を大幅に短くできる。その結果、直列抵抗の低減を図ることができる。

#### 【0028】

また、コンタクト層 7, 9 は、AlGaInP よりなる発光層部 24 に対し、格子整合性の良好な GaAs 層 7', 9' をまず形成し、その後、比較的低温で

短時間の熱処理を施すことにより、In含有量が過剰でなく、しかも均質で連続性の良好なものとなる。その結果、発光層部24との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化を効果的に防止することができる。

#### 【0029】

コンタクト層7, 9は、適当なドーパントの添加により、これと接する各クラッド層6, 4とそれぞれ同じ導電型を有するものとして形成してもよいが、これらコンタクト層7, 9を上記のような薄層として形成する場合は、これらをドーパント濃度の低い低ドーブ層（例えば $10^{17}$ 個/cm<sup>3</sup>以下；あるいはノンドーブ層（ $10^{13}$ 個/cm<sup>3</sup>～ $10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>）として形成しても直列抵抗の過度の増加を招かないので、問題なく採用可能である。他方、低ドーブ層とした場合、発光素子の駆動電圧によっては、以下のような効果が達成できる。すなわち、電極接合層を低ドーブ層とすることで、層の電気抵抗率自体は高くなるので、これを挟む電気抵抗率の小さいクラッド層あるいはITO透明電極層8, 10に対して、電極接合層の層厚方向に印加される電界（すなわち、単位距離当たりの電圧）が相対的に高くなる。このとき、電極接合層を、バンドギャップの比較的小さいInを含有したGaAsにより形成しておくこと、上記電界の印加により電極接合層のバンド構造に適度な曲がりが生じ、より良好なオーミック状接合を形成することができる。そして、図6あるいは図7に示すように、コンタクト層7, 9のIn濃度が、ITO透明電極層8, 10との接触側にて高められていることで、該効果が一層顕著なものとなっている。

#### 【0030】

なお、InGaAs層とAlGaInP層とを直接接合した場合、接合界面にやや高いヘテロ障壁が形成され、これに起因して直列抵抗成分が増大する場合があります。そこで、これを低減する目的で、図1に一点鎖線で示すようにITO透明電極層8, 10と接するコンタクト層7, 9と、AlGaInPクラッド層6, 5との間に、両者の中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層11, 12を挿入することができる。中間層11, 12は、例えばAlGaAs、GaInP及びAlGaInPの少なくとも1つを含むものとして構成でき、例えば中間層の全体を単一のAlGaAs層として構成できる。この構造を採用する場

合でも、それら中間層の厚さはそれぞれ  $0.1\ \mu\text{m}$  程度以下 ( $0.01\ \mu\text{m}$  以上 : これ以上薄くなると、バルクのバンド構造が失われ、所期の接合構造が得られなくなる) とすることが可能なため、薄層化によるエピタキシャル成長時間の短縮、ひいては生産性の向上を図ることができ、中間層形成による直列抵抗の増分も少なくできるため、発光効率も損なわれにくい。

#### 【0031】

このような中間層 11, 12 を形成した発光素子としては、図 2 に示すように、ダブルヘテロ構造をなす発光層部 124 の各層 (p 型クラッド層 106、活性層 105 及び n 型クラッド層 104) を AlGaInN 混晶により形成した、青色あるいは紫外発光用のワイドギャップ型発光素子 200 であってもよい。発光層部 124 は、図 1 の発光素子 100 と同様に MOVPE 法により形成される。該図 2 の発光素子 200 は、発光層部 124 を除き、残りの部分は図 1 の発光素子 100 と同一構成であるので、詳細な説明は省略する。

#### 【0032】

なお、図 8 に示す発光素子 50 のように、ダブルヘテロ構造層からなる発光層部 24 に、その片側にのみコンタクト層及び ITO 透明電極層を接合してもよい。この場合は、n 型 GaAs 基板 1 は素子基板に流用され、その第一主表面側にコンタクト層 7 及び ITO 透明電極層 8 が形成される。

#### 【0033】

図 9 は、その光取出面側の ITO 透明電極層 8 について、コンタクト層 7 とクラッド層 6 との間に、中間層 20, 21 を形成した例である。該コンタクト層 7 は、図 7 に示すような InGaAs 層と GaAs 層とからなるものであり、バンド端不連続値の縮小に寄与している。また、中間層 20, 21 は、バンドギャップエネルギーがクラッド層側に向けて段階的に減少する複数層 (連続的に減少する単一層であってもよい)、この実施形態では、AlGaAs 層 20 と AlGaInP 層 21 との 2 層により構成され、同様にバンド端不連続値の縮小に寄与している。特に、発光層部 24 における活性層のバンドギャップエネルギーが大きい、つまり、発光波長が短い場合は、キャリア閉じ込め効果確保に必要な十分な活性層側のバンド端不連続値を確保するために、クラッド層側のバンドギャップエ

エネルギーも高めざるを得ない（例えば  $\text{AlGaInP}$  の場合は、 $\text{Al}$  含有量の高いクラッド層とする）。この場合は、コンタクト層との間に形成される障壁高さも大きくなるので、このように複数の中間層 20, 21 を設けることが有効となる。

#### 【0034】

また、図 12 に示す発光素子 51 のように、 $\text{GaAs}$  基板 1 と発光層部 24 との間に、例えば特開平 7-66455 号公報に開示されている半導体多層膜や、あるいは  $\text{Au}$  ないし  $\text{Au}$  合金にて構成された金属層を反射層 16 として挿入することができる。これにより、発光層部 24 から直接光取出層側に漏出する光  $L$  に加え、反射層 16 での反射光  $L'$  が加わるので、光取出効率を高めることができる。また、全反射損失をさらに低減するために、特開平 5-190893 号公報に開示されているように、発光層部と光取出層との界面を光取出方向に向けて凸状に湾曲させることもできる。

#### 【0035】

また、活性層 5 あるいは 105 は上記実施形態では単一層として形成していたが、これを、バンドギャップエネルギーの異なる複数の化合物半導体層が積層されたもの、具体的には、図 13 (a) に示すような量子井戸構造を有するものとして構成することもできる。量子井戸構造を有する活性層は、図 13 (b) 及び (c) に示すように、混晶比の調整によりバンドギャップが互いに相違する 2 層、すなわちバンドギャップエネルギーの小さい井戸層 B と大きい障壁層 A とを、各々電子の平均自由行程もしくはそれ以下の厚さ（一般に、1 原子層～数 10 Å）となるように格子整合させる形で積層したものである。上記構造では、井戸層 B の電子（あるいはホール）のエネルギーが量子化されるため、例えば半導体レーザー等に適用した場合に、発振波長をエネルギー井戸層の幅や深さにより自由に調整でき、また、発振波長の安定化、発光効率の向上、さらには発振しきい電流密度の低減などに効果がある。さらに、井戸層 B と障壁層 A とは厚さが非常に小さいため、2～3% 程度までであれば格子定数のずれが許容され、発振波長領域の拡大も容易である。なお、量子井戸構造は、(b) に示すように、井戸層 B を複数有する多重量子井戸構造としてもよいし、(c) に示すように、井戸層 B

を1層のみ有する単一量子井戸構造としてもいずれでもよい。図では、p型及びn型の各クラッド層を $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  混晶により、障壁層Aを $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  混晶により、井戸層Bを $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  混晶によりそれぞれ構成している。なお、障壁層Aの厚さは、例えばクラッド層と接するもののみ50nm程度とし、他は6nm程度とすることができる。また、井戸層Bは5nm程度とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の発光素子の一例を積層構造にて示す模式図。

【図2】

本発明の発光素子の別例を積層構造にて示す模式図。

【図3】

図1の発光素子の製造工程を示す模式図。

【図4】

図3に続く模式図。

【図5】

図4に続く模式図。

【図6】

コンタクト層のIn濃度分布の一例を、比較例と共に示す模式図。

【図7】

コンタクト層のIn濃度分布の別例を示す模式図。

【図8】

発光層部の第一主表面にのみ電極接合層及びITO透明電極層を形成した素子構造の例を示す模式図。

【図9】

図8の光取出面側において、コンタクト層とクラッド層との間に中間層を挿入した素子構造の例を示す模式図。

【図10】

コンタクト層のバンド構造の第一例を示す模式図。

【図 1 1】

コンタクト層のバンド構造の第二例を示す模式図。

【図 1 2】

図 5 において、光取出層の第二主表面側に反射層を挿入した素子構造の例を示す模式図。

【図 1 3】

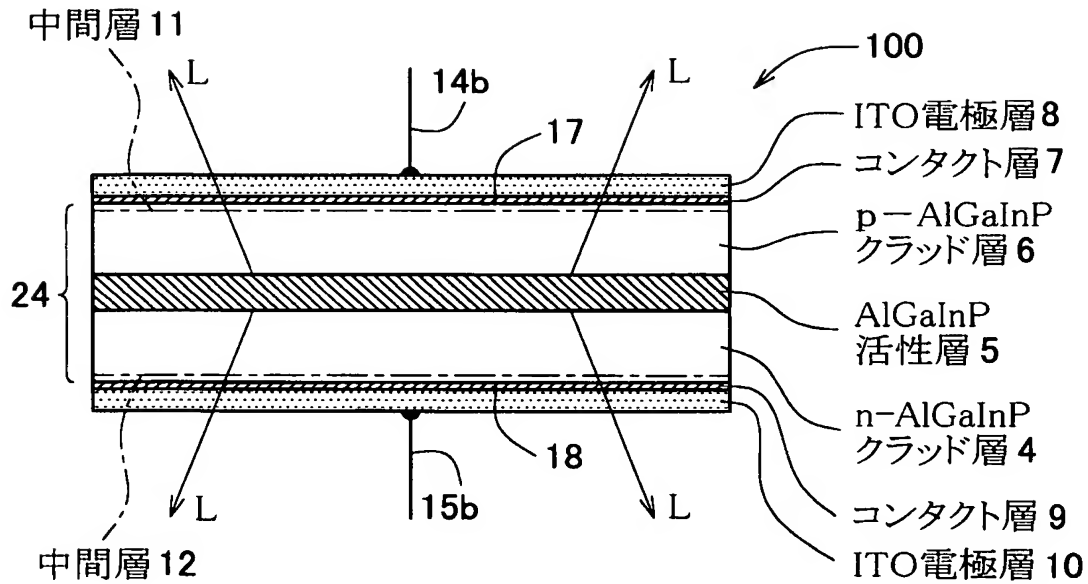
量子井戸構造を有する活性層の模式図。

【符号の説明】

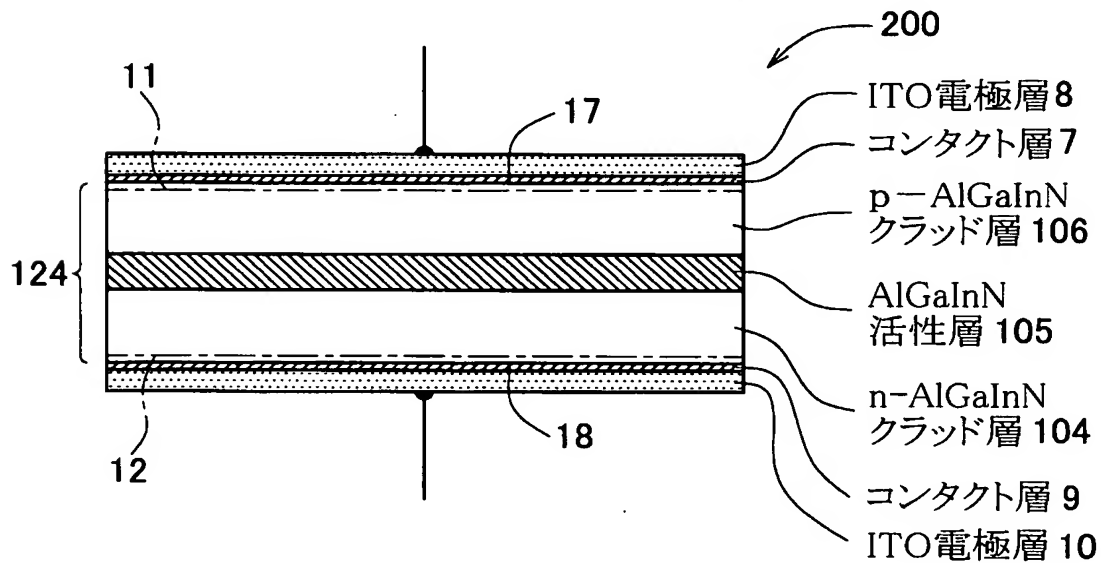
- 4    n 型 AlGaInP クラッド層（第二導電型クラッド層）
- 5    AlGaInP 活性層
- 6    p 型 AlGaInP クラッド層（第一導電型クラッド層）
- 7    コンタクト層
- 8    ITO 透明電極層
- 9    コンタクト層
- 10   ITO 透明電極層
- 24   発光層部
- 104   n 型 AlGaInN クラッド層（第二導電型クラッド層）
- 105   AlGaInN 活性層
- 106   p 型 AlGaInN クラッド層（第一導電型クラッド層）
- 50, 51, 100, 200   発光素子

【書類名】 図面

【図 1】

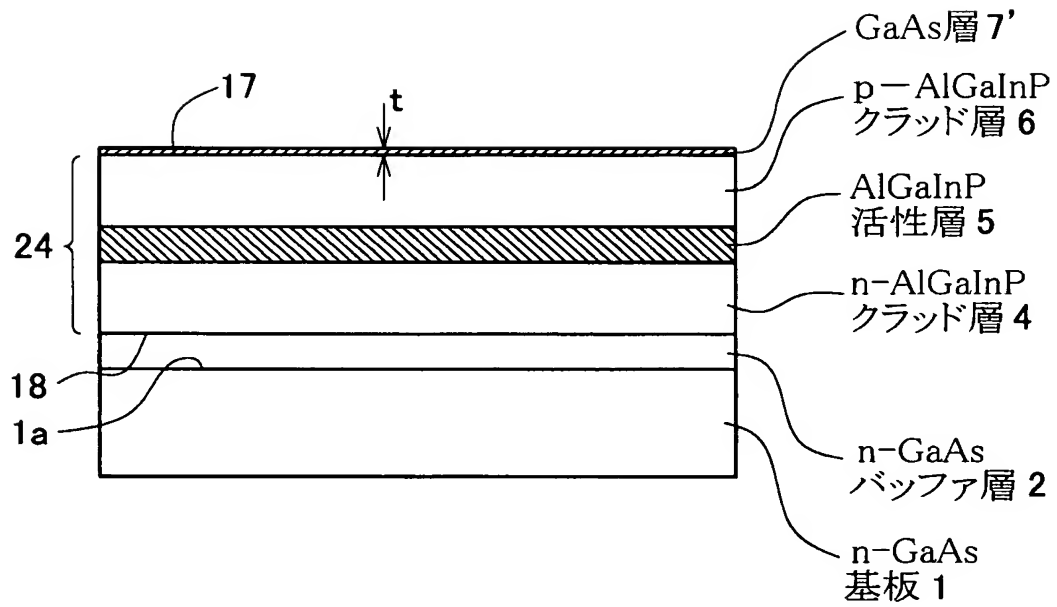


【図 2】

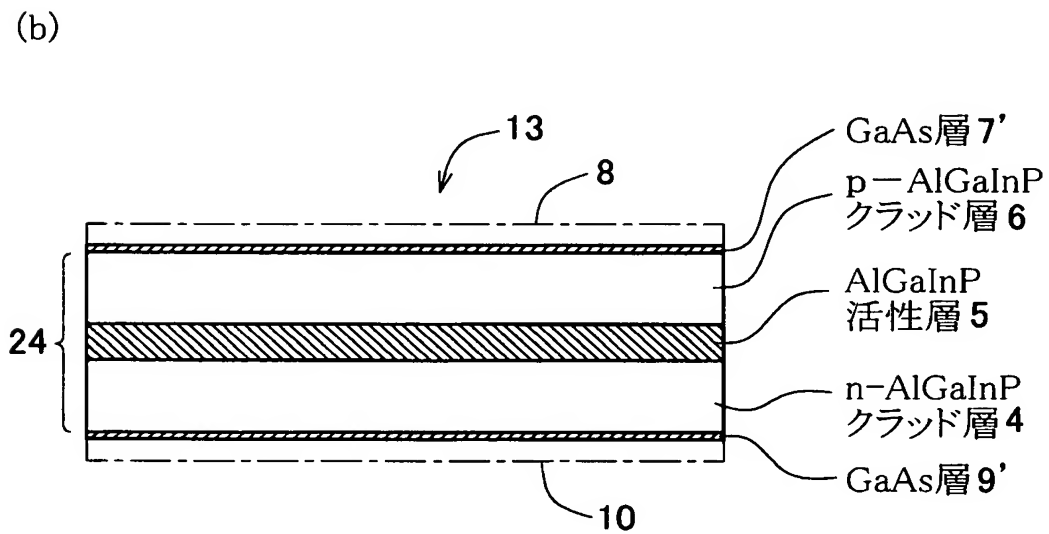
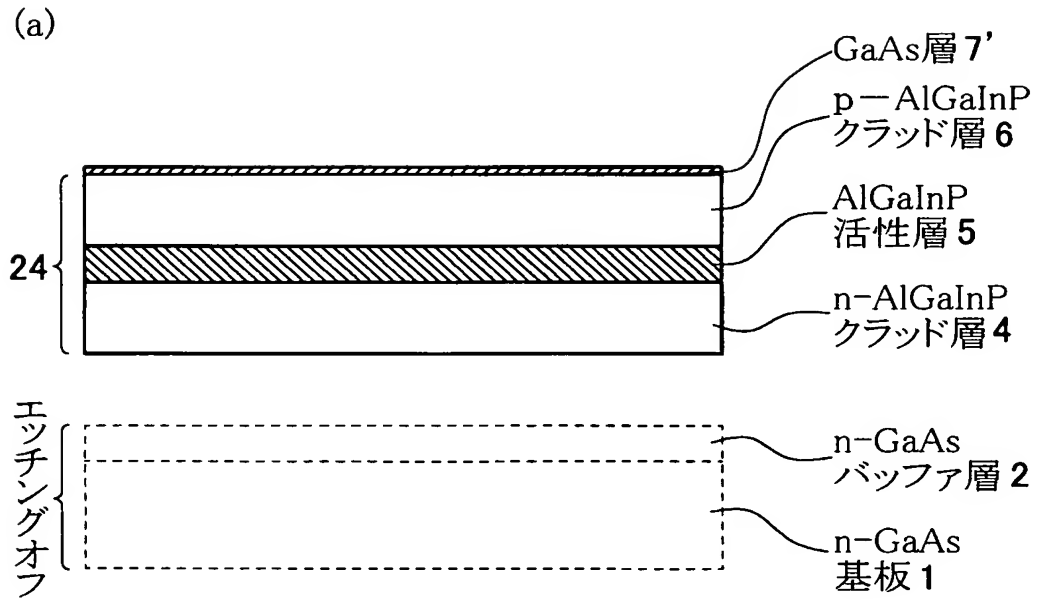




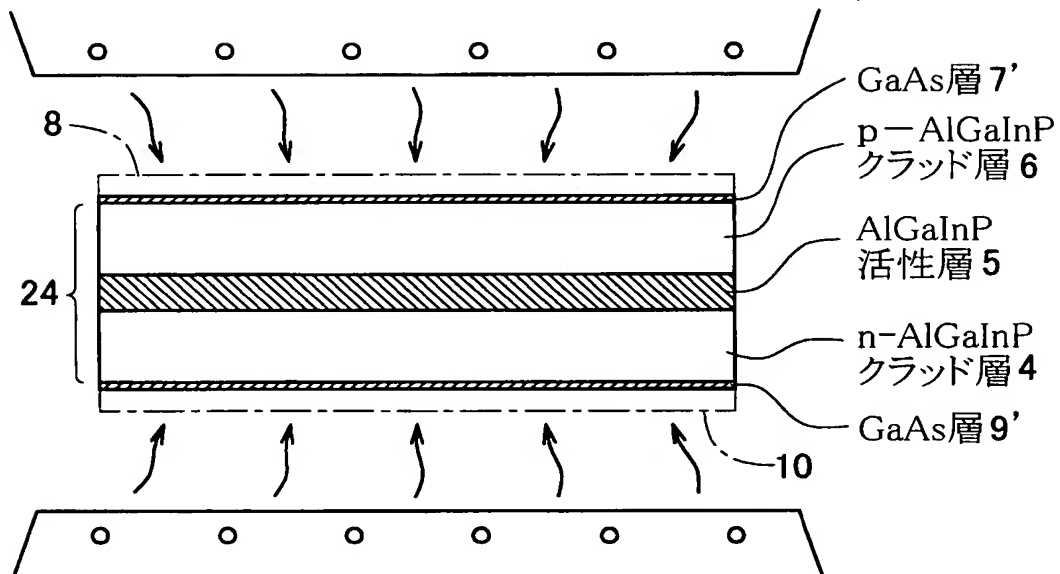
【図 3】



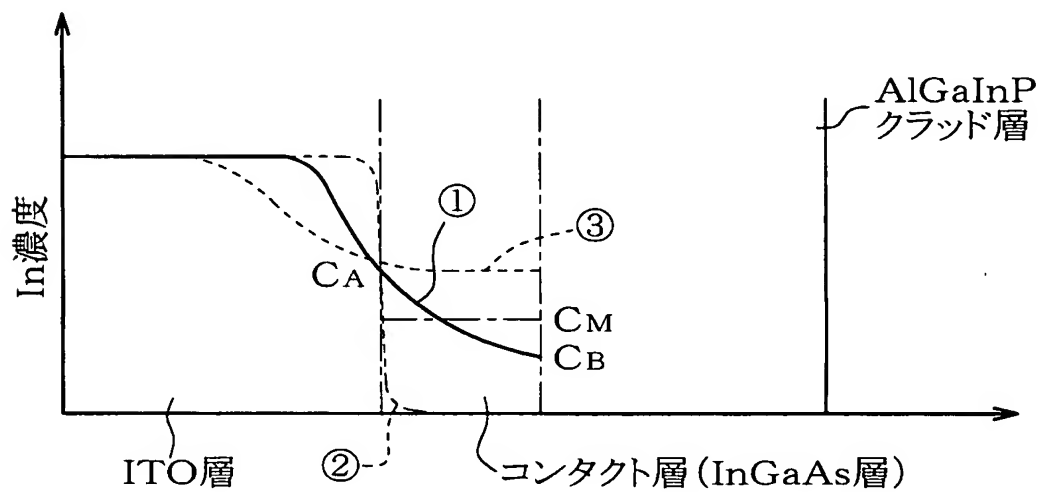
【図 4】



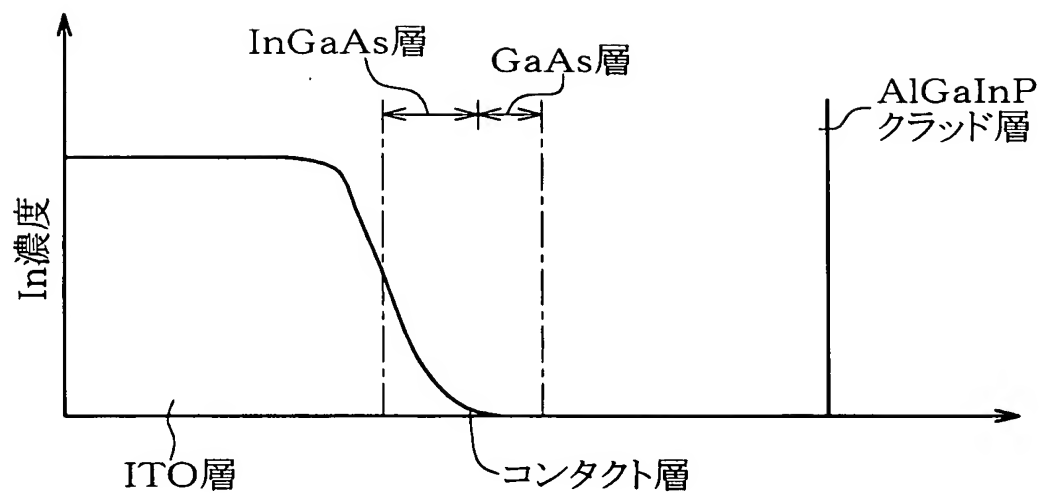
【図 5】



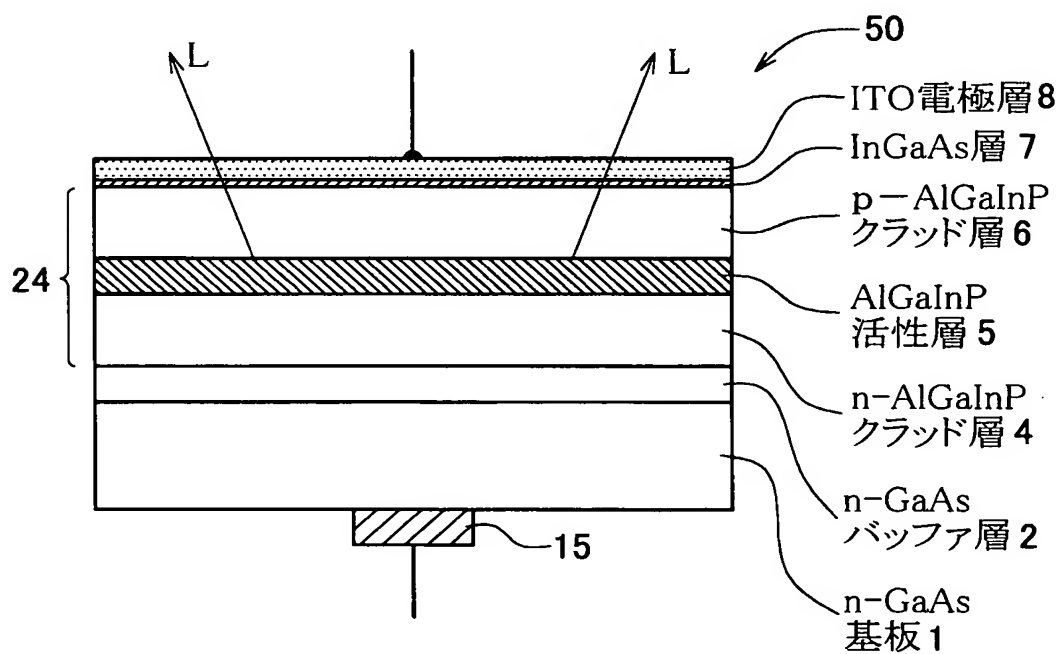
【図 6】



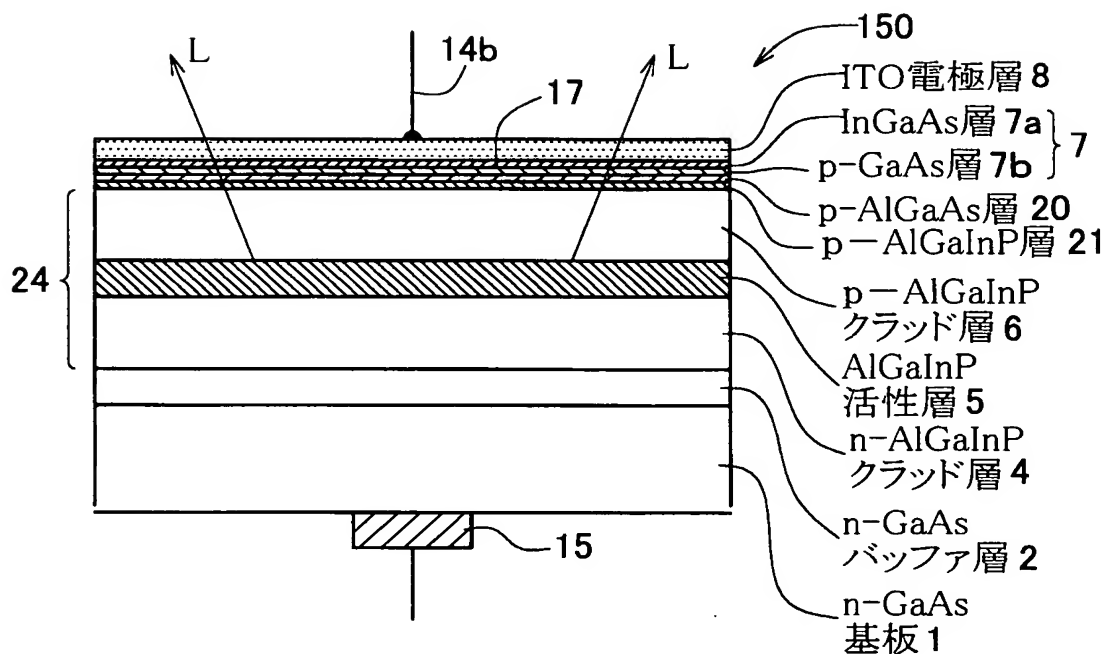
【図 7】



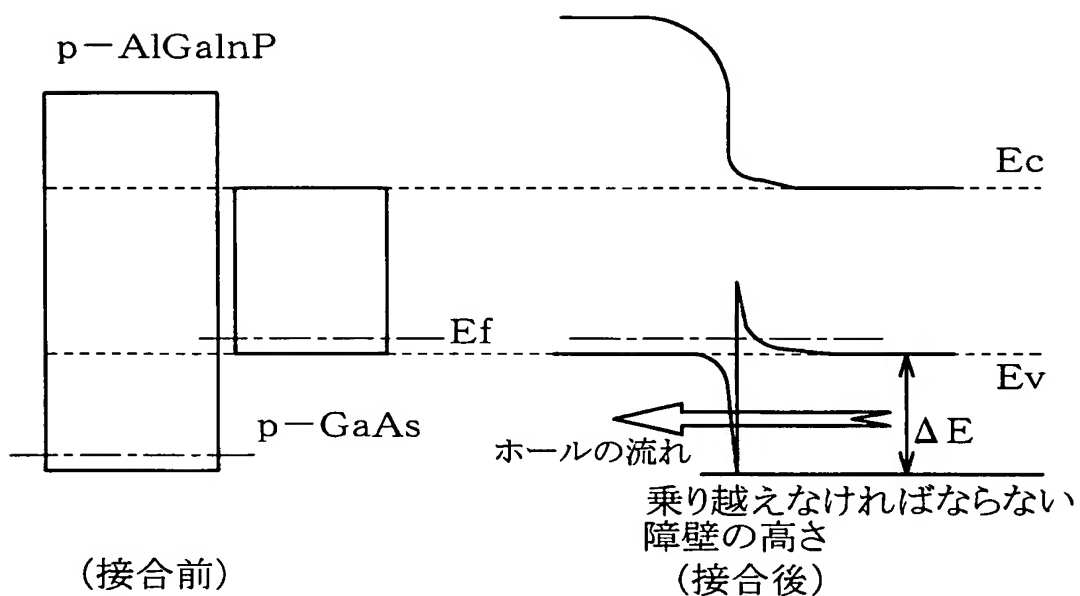
【図 8】



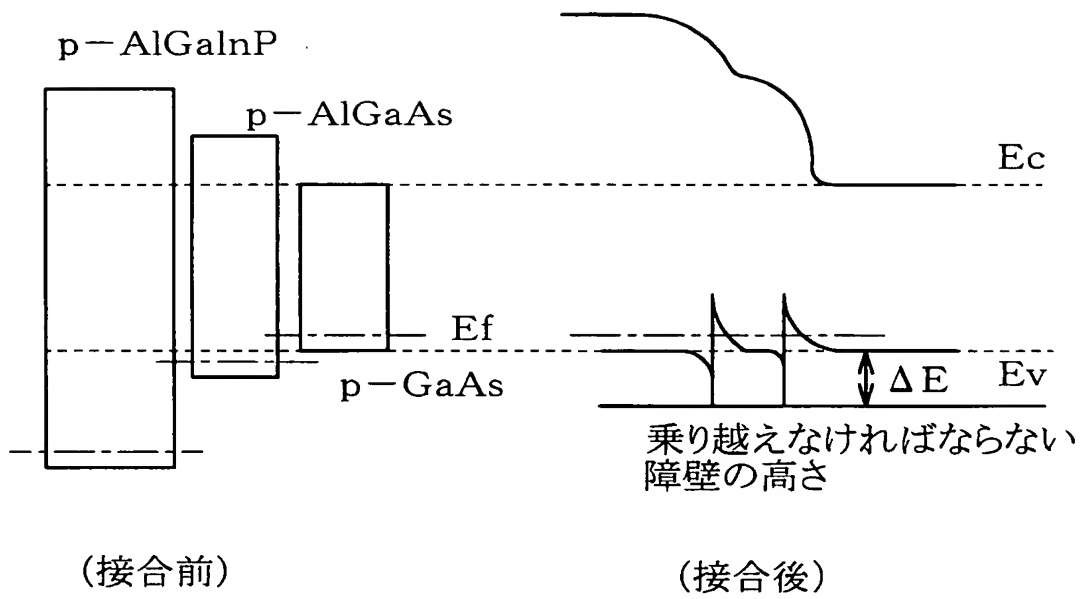
【図 9】



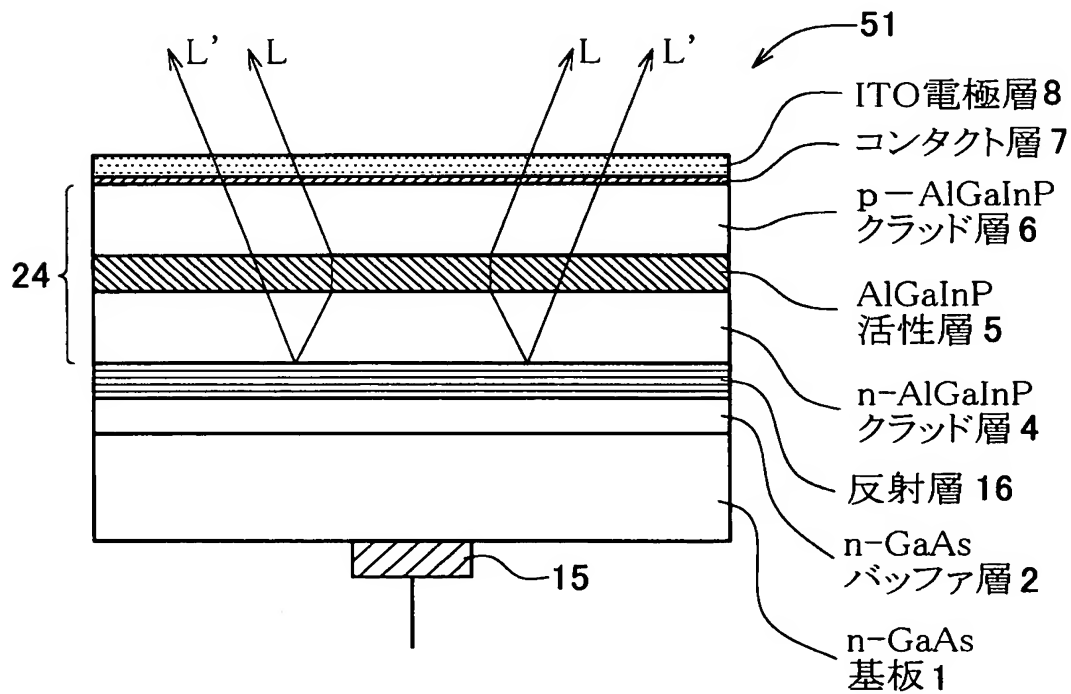
【図 10】



【図 1 1】

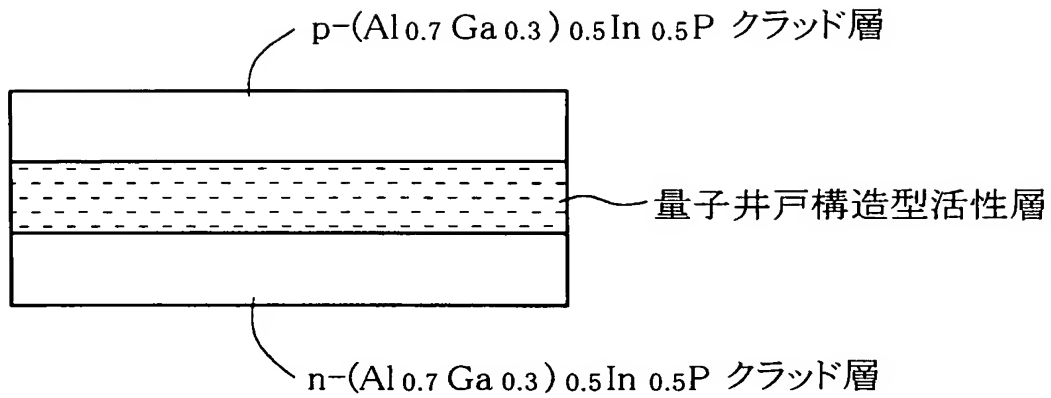


【図 1 2】

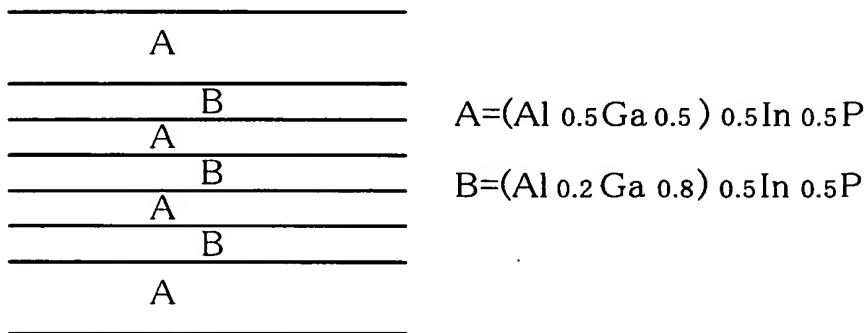


【図 13】

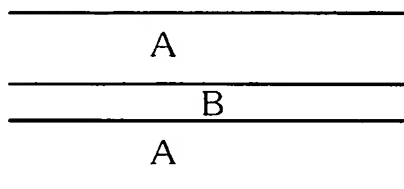
(a)



(b)



(c)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発光駆動用の電極としてITO透明電極層をコンタクト層を介して接合し、該電極の接触抵抗を低減するとともに、コンタクト層形成に際して発光層部との格子定数差の影響も受けにくい発光素子の製造方法を提供する。

【解決手段】 発光素子100は、発光層部24に発光駆動電圧を印加するためのITO透明電極層8, 10を有し、発光層部24からの光が、該ITO透明電極層8, 10を透過させる形で取り出される。また、発光層部24とITO透明電極層8, 10との間に、Inを含有したGaAsよりなるコンタクト層が、該ITO透明電極層と接する形にて形成される。該コンタクト層7, 9は、発光層部上にGaAs層7', 9'を形成し、そのGaAs層7', 9'と接するようにITO透明電極層8, 10を形成した積層体13を熱処理することにより、ITO透明電極層8, 10からGaAs層7', 9'にInを拡散させて形成する。

【選択図】 図5



特願 2 0 0 2 - 2 3 0 3 4 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 1 9 0 1 4 9 ]

1. 変更新月日	1 9 9 0 年 8 月 7 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番 2 号
氏 名	信越半導体株式会社

特願 2 0 0 2 - 2 3 0 3 4 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 5 0 1 0 4 5 0 2 1 ]

1. 変更年月日 2 0 0 2 年 1 月 2 5 日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都三鷹市下連雀3丁目38番地4号 三鷹産業プラザ40  
8

氏 名 株式会社ナノテコ